

**ANALISIS PENGUJIAN TAHANAN ISOLASI GENERATOR UNIT 2  
PT. PJB UBJ O&M PLTU 1 PACITAN JAWA TIMUR  
DENGAN METODE TAN DELTA**

**BAYU AZIS IRIANTO**

**Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Yogyakarta Jl. Lingkar Selatan, Kec.Kasih,  
Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta 55183, Indonesia  
Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Yogyakarta  
E-mail: [bayuazis.ba@gmail.com](mailto:bayuazis.ba@gmail.com)**

**ABSTRACT**

*The quality of the insulation of a winding is a vital part of generators and electrical machines that require special attention. To know the quality of winding insulation it is necessary to test the isolation resistance that is by Tan Delta method. In this research the test is done on winding stator generator unit 2 PT. PJB UBJ O & M PLTU 1 Pacitan East Java. Testing with Tan Delta method aims to find out the insulation resistance value of the stator generator winding. The results of this test which will be a reference whether the quality of stator winding insulation is still in good condition. Also the current value leak (Charge current) is small. A winding insulation is said to be good if the insulation resistance value (Tan Delta) is  $\leq 4\%$ . In accordance with the standard used by IEEE std 286-2000 and VDE 0530 Part 1.*

*Keywords: Insulation resistance, Tan Delta, Generator, Charger Current.*

## 1. PENDAHULUAN

Di era global sekarang ini, energi listrik merupakan kebutuhan utama bagi masyarakat di seluruh dunia sebagai sumber energi untuk berbagai kegiatan, mulai dari kegiatan sehari-hari, kegiatan ekonomi dan industri. Kebutuhan akan energi listrik dari tahun ke tahun semakin meningkat seiring dengan laju pertumbuhan penduduk. Begitu juga akan kebutuhan energi listrik yang memiliki keandalan dan kontinuitas yang baik. Hal ini akan menjadi masalah besar dimasa mendatang jika kebutuhan listrik tidak sebanding dengan jumlah sumber energi listrik yang ada. Untuk itu diperlukan sistem tenaga listrik yang memiliki keandalan dan kontinuitas yang baik dengan menerapkan teknologi sistem tenaga listrik yang sifatnya lebih efisien, perawatan mesin-mesin listrik yang baik dan sistem proteksi yang baik.

Generator merupakan bagian yang sangat vital pada pembangkit listrik. Sesuai dengan fungsinya, Generator merupakan mesin konversi energi elektromagnetik yang berfungsi merubah energi mekanik dalam bentuk putaran poros menjadi energi listrik. Untuk menghasilkan listrik yang memiliki keandalan dan kontinuitas yang baik maka generator harus bekerja secara optimal dan tidak boleh mengalami kegagalan.

Lebih kurang 26% kegagalan generator disebabkan oleh kegagalan isolasi. Dimana isolasi merupakan bagian yang memerlukan perhatian khusus pada generator. Karena kegagalan isolasi dipengaruhi oleh faktor usia peralatan yaitu sekitar 18% dan faktor kelembaban sekitar 18%. Karena tingkat kegagalan yang tinggi dipengaruhi oleh gagalnya isolasi, maka perlu dilakukan perawatan khusus pada bagian isolasi. Salah satunya yaitu dengan melakukan pengujian tahanan isolasi.

Apabila nilai tahanan isolasi generator baik, maka akan mengurangi tingkat kegagalan isolasi. Dengan berkurangnya tingkat kegagalan isolasi, maka akan mengurangi tingkat kegagalan generator. dengan berkurangnya tingkat kegagalan generator, maka generator dapat bekerja secara optimal. Dengan demikian generator dapat menghasilkan listrik yang memiliki keandalan dan kontinuitas yang baik.

Karena pentingnya peranan Generator pada sistem tenaga listrik khususnya unit pembangkitan, maka dalam penelitian ini penulis akan melakukan Analisis Tahanan Isolasi pada Generator unit 2 PT. PJB UBJ O&M PLTU 1 Pacitan Jawa Timur dengan metode Tangen Delta. Dengan tujuan mengetahui kondisi dari generator unit

2 PLTU pacitan guna menghasilkan energi listrik yang memiliki keandalan dan kontinuitas yang baik.

Dalam Al-qur'an disebutkan pada surat Al-A'raf ayat 56:

وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا  
وَادْعُوهُ خَوْفًا وَطَمَعًا إِنَّ رَحْمَتَ اللَّهِ قَرِيبٌ  
مِّنَ الْمُحْسِنِينَ

Artinya: *“Dan janganlah kamu membuat kerusakan di muka bumi, sesudah (Allah) memperbaikinya dan berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut (tidak akan diterima) dan harapan (akan dikabulkan). Sesungguhnya rahmat Allah amat dekat kepada orang-orang yang berbuat baik”*

Dari ayat diatas Allah melarang manusia untuk berbuat kerusakan baik di darat, laut, udara dan dimana saja. Karena kerusakan yang disebabkan oleh manusia dapat membahayakan pada tata kehidupan manusia itu sendiri. Seperti kerusakan alam, pencemaran udara dan bencana alam lainnya. Maka dari itu Allah meminta manusia untuk selalu menjaga semuanya agar kerusakan dapat diminimalisir.

## 2. DASAR TEORI

### 2.1. Generator Sinkron

Generator sinkron sering di sebut juga sebagai Generator AC karena dapat menghasilkan tegangan bolak-balik (AC). Generator dikatakan sinkron apabila jumlah putaran rotor sama dengan jumlah medan magnet pada stator. Kecepatan putar rotor dengan kutub-kutub magnet yang berputar dengan kecepatan yang sama akan menghasilkan kecepatan sinkron. Hubungan antara medan magnet dan frekuensi pada stator dapat ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$f = \frac{n \cdot p}{120}$$

Dimana:

$f$  = frekuensi (Hz)

$n$  = kecepatan putar rotor (rpm)

$p$  = jumlah kutub

Ketika kumparan rotor berfungsi sebagai pembangkit kumparan medan magnet yang berputar, maka pada kumparan rotor akan timbul fluks. Fluks inilah yang akan menginduksi dan memotong kumparan stator sehingga timbul gaya gerk listrik (GGL).

### 2.2. Konstruksi Generator Sinkron

Pada umumnya generator sinkron memiliki dua bagian utama, yaitu: rotor dan stator. Stator merupakan bagian tidak

bergerak yang menghasilkan tegangan bolak-balik. Rotor merupakan bagian bergerak yang menghasilkan medan magnet dan menginduksikannya ke stator. Kedua bagian tersebut merupakan rangkaian magnetik yang berbentuk simetris dan silindris. Selain itu generator sinkron juga mempunyai ruang celah udara antara stator dan rotor sebagai tempat timbulnya fluks listrik.



### 2.2.1. Stator

Pada umumnya *stator* merupakan tempat ggl dibangkitkan dan tempat arus beban mengalir ketika *generator* berbeban. *Stator generator* untuk pusat pembangkit listrik umumnya terdiri dari 3 bagian yaitu, rangka *stator* (*stator frame*), inti *stator* (*stator core*) dan kumparan *stator* (*stator winding*).



#### a. Rangka stator (*stator frame*)

Rangka stator dibuat menyerupai tabung silinder yang bagian dalamnya diperkuat

dengan rusuk-rusuk berupa lempengan-lempengan cincin baja yang di-las. Di sekeliling bagian dalam rangka silinder ini kemudian dipasang baja-baja bulat juga di-las sehingga menyerupai bentuk sangkar.

#### b. Inti stator (*stator core*)

Inti stator terbuat dari segmen-segmen dimana tiap segmen tersebut terbuat dari laminasi lembaran plat baja silikon yang memiliki sifat kemagnitan sangat baik (permeabilitasnya tinggi).

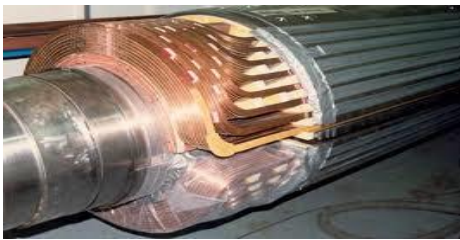
#### c. Kumparan stator (*stator winding*)

Kumparan stator terbuat dari lempengan-lempengan tembaga berpenampang segi empat (*copper strips*) dan mempunyai konduktivitas yang tinggi, yang dililit dengan pita isolasi diseluruh permukaannya sehingga membentuk batang solid yang terisolasi. Batang tembaga berisolasi ini kemudian ditempatkan pada alur (*slot*) inti stator dan dikunci dengan pasak yang terbuat dari bahan isolasi.

### 2.2.2. Rotor

Pada umumnya *rotor* merupakan tempat dimana medan magnet dibangkitkan. *Rotor generator* terdiri dari 2 bagian inti *rotor* dan kumparan *rotor*. *Rotor* pada umumnya ditumpu pada kedua ujungnya dengan bantalan (*bearing*). Perlu

diketahui bahwa salah satu atau bahkan kedua bantalan tersebut diisolasi terhadap pondasi (*ground*). Hal ini dilakukan untuk mencegah terjadinya sirkuit yang tertutup antara *rotor*, bantalan dan pondasi (*ground*) yang dapat menimbulkan aliran arus liar ini terjadi, maka permukaan bantalan minyak pelumas akan rusak akibat efek elektrokimia (*electro chemical*).



a. Inti rotor (bodi rotor)

Inti rotor terbuat dari baja tuang yang dibubut atau bahan *ferromagnetic* yang mempunyai permeabilitas tinggi di sekeliling inti rotor dibuat laur-alur dalam arah aksial untuk menempatkan konduktor kumparan dan sebagai saluran bagi media pendingin.

b. Kumparan rotor

Kumparan rotor terbuat dari lempengan konduktor tembaga yang mempunyai konduktivitas tinggi yang dimasukkan ke dalam alur-alur pada inti rotor setelah seluruh permukaan alur dilapisi bahan isolasi. Kedua ujung kumparan masing-masing dihubungkan ke *slipring* yang terbuat dari baja ke tempat yang diisolasi terhadap bodi rotor (untuk rotor *Generator*

dengan sistem eksitasi statis). Untuk *generator* dengan sistem eksitasi tanpa sikat arang (*brushless*), kedua ujung kumparan rotor dihubungkan ke konduktor yang melintasi lubang di pusat rotor agar dapat disambung ke *output rotating rectifier*. Kedua ujung rotor kemudian dipasang *fan* untuk mensirkulasikan media pendingin.

c. Bantalan

Rotor pada umumnya ditumpu kedua ujungnya dengan bantalan (*bearing*). Perlu diketahui bahwa salah satu atau kedua bantalan ini di isolasi terhadap pondasi (*ground*). Hal ini dilakukan untuk mencegah terjadinya sirkuit tertutup antara rotor, bantalan dan pondasi (*ground*) yang dapat menimbulkan aliran arus liar terjadi, maka permukaan bantalan minyak pelumas akan rusak akibat efek elektrokimia (*electro chemical*).

### 2.3.Prinsip Kerja Generator Sinkron

Prinsip dasar kerja *generator* adalah berdasarkan hukum *Faraday* yaitu “apabila lilitan penghantar dengan jumlah  $N$  lilitan atau konduktor diputar memotong garis-garis gaya medan magnet yang diam, atau lilitan penghantar diam dipotong oleh garis-garis gaya medan magnet yang berputar, maka pada penghantar tersebut timbul EMF atau GGL (gaya gerak listrik) atau tegangan

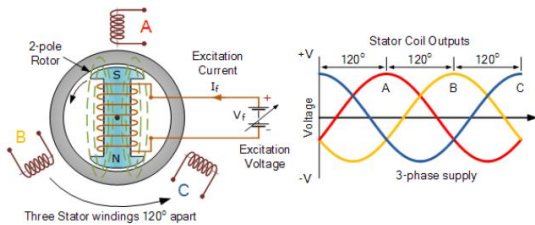
induksi". Jadi apabila bagian magnet (rotor) diputar dengan kecepatan konstan, maka akan muncul induksi tegangan *sinusoidal* pada bagian tersebut. Besarnya tegangan yang dihasilkan yaitu:

$$E = -N \frac{d\phi}{dt}$$

$E$  = besarnya tegangan yang dihasilkan

$N$  = jumlah lilitan

$\frac{d\phi}{dt}$  = perubahan medan magnet web/detik



Dari gambar diatas dapat dilihat proses terbentuknya induksi tegangan *sinusoidal*. Ketika kumparan medan magnet diputar dengan kecepatan konstan, maka kumparan jangkar ABC akan menghasilkan gelombang tegangan. Gelombang tegangan inilah yang nantinya menjadi tegangan keluaran dari suatu generator.

## 2.4. Isolator

Untuk memproteksi lilitan medan dan lilitan stator sistem isolasi generator menngabungkan beberapa material berbeda, sehingga pada bagian utama memerlukan beberapa pengujian untuk mendapatkan

batasan standar isolasi. Sistem isolasi ini meliputi kekuatan dielektrik yang telah berhasil menggunakan mika dalam berbagai bentuk. Dalam penyusunan isolasi lilitan *asphalt-mica* pada generator mempunyai sejarah dapat menyerap kelembaban, namun dalam beberapa kasus membutuhkan pengeringa lilitan untuk mendapatkan level resistansi isolasi yang baik. Isolasi *epoxy-mica* sekarang banyak digunakan karena mempunyai kekuatan mekanik dan kekedapan yang baik terhadap air, oli atau kontaminasi lain yang di timbulkan oleh kondisi abnormal.

Kualitas isolasi menjadi faktor yang harus diperhatikan untuk melakukan suatu perbaikan (*rewinding*) ataupun (*reinsulation*). Pengujian dengan tetangan tinggi pada belitan merupakan salah satu cara untuk mengetahui adanya arus bocor pada isolasi belitan. Dengan memberikan tegangan tinggi pada isolasi belitan, maka dapat menunjukkan kualitas dari isolasi terhadap tegangan kerja yang di terima.

Besarnya nilai arus bocor yang tertedeksi pada saat pengujian, menjadi parameter dari ketahanan kualitas isolasi terhadap tegangan kerja yang diterima. *Dissipation factor* atau *tan delta* merupakan parameter untuk memperlihatkan efisiensi isolasi. Pengujian *tan delta* sangat efektif

untuk mendeteksi adanya kontaminasi isolasi, kualitas semikonduktor, jumlah kandungan kehampaan dan *partial discharge*.

## 2.5. Tahanan Isolasi

Ketika tegan DC diinjeksikan kepada isolator yang terbuat dari bahan polimer, maka arus mengalir melewati bagian dalam dan permukaannya. Tahanan isolasi adalah perbandingan dari tegangan DC yang diinjeksikan dan arus total, perbandingan antara tegangan dengan arus yang melewati bagian dalam disebut tahanan volume dan perbandingan antara tegangan dan arus yang melewati bagian permukaannya disebut tahanan permukaan. Tahanan volume per satuan tebal dan per satuan luas disebut ketahanan volume ( $\Omega\text{cm}$ ), sedangkan tahanan permukaan per satuan jarak permukaan atau satuan panjang dari elektroda disebut ketahanan permukaan ( $\Omega$ ).

## 2.6. Tan Delta

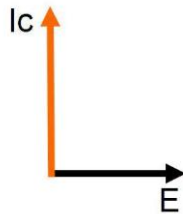
Tan Delta atau *dissipation factor* atau *dielectric loss* merupakan bilangan tanpa dimensi yang menunjukkan nilai tahanan isolasi. Idelanya isolasi yang baik tidak mengkonduksikan listrik sama sekali. Namun untuk mencapai hal itu sangatlah sulit sekali, maka akan tetap menjadi konduktor dan menglairkan sejumlah arus dan menjadi *loss*.

Pada isolasi dengan material yang baik, memiliki *losses* cukup rendah maka tidak memberikan efek merusak terhadap isolasi. Pengujian tan delta berfungsi untuk memeriksa *losses* yang terjadi atau juga bias sebagai *quality control*. Maka dari itu pengujian tan delta sering digunakan oleh perusahaan untuk memeriksa kondisi isolasi dari peralatannya. Karena tan delta dapat mndeteksi kondisi resin insulasi dalam keadaan *undercured* atau kontaminasi.

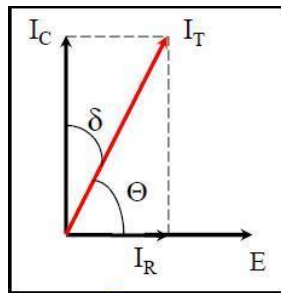
Insulasi atau isolasi sesuai dengan namanya berfungsi sebagai penyekat arus listrik. Ketika dua konduktor diletakkan secara berhimpitan, maka insulasi berada diantaranya. Teori ini sama seperti halnya kapasitor. Apabila tegangan (DC) diinjeksikan terhadap konduktor, maka arus *charging* kapasitif yang kuat mengalir pada isolator, hal ini yang dapat mengakibatkan arus bocor. Arus bocor yang mengalir melewati isolator berbanding lurus dengan tegangan dan berbanding terbalik dengan tahanan isolasi. Inilah yang menjadi prinsip dasar dari pengukuran tahanan isolasi atau megger tes.

Hampir sama dengan tegangan (DC), tegangan sinusoidal (AC) yang bervariasi, arus juga terbagi menjadi dua

yaitu *charging current* atau lebih dikenal dengan arus *leading* atau kapasitif dan sejumlah kecil kebocoran arus atau resistif. Apabila digambarkan kondisi tegangan (AC) secara vector, arus berada pada arah melintang insulasi yang sempurna (seluruhnya kapasitif) dan 90% terhadap fase tegangan (*leading*).



Insulasi pada kenyataanya terdapat kebocoran arus melalui knsulasi dengan kondisi satu fasa dengan tegangan, hal itu di karenakan adanya sifat resistif pada insulasi. Dengan demikian saat tegangan (AC) diijeksikan, arus total mengalir  $I_T$  terdiri dari arus kapasitif  $I_C$  arus resistif  $I_R$  seperti pada kurva berikut.



*Losses* pada insulasi semuanya dipengaruhi oleh arus resistif. Besarnya nilai *losses* dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$Loss = I . V . \cos \phi$$

atau

$$Loss = I . V . \sin \delta$$

Pada sudut  $\delta$  kecil (seperti pada insulasi riil) dapat dianggap.

$$\sin \delta = \tan \delta$$

berarti

$$Loss = I . V . \tan \delta$$

Maka dissipasi faktor atau tan delta dapat kita rumuskan sebagai berikut:

$$DF = \omega R_s C_s$$

Dimana  $R_s$  dapat kita cari terlebih dahulu dengan rumus:

$$R_s = \frac{P}{I^2}$$

Jadi dari perrumusan diatas dapat dilihat bahwa *losses* berbanding lurus dengan tan sudut  $\delta$  (*loss*) dan merupakan faktor tidak berdimensi. Sudut *loss* (tan delta) tersebut dapat diukur dengan bermacam-macam peralatan dan menjadi parameter terukur untuk mengetahui karakteristik *loss* dielektrik insulasi (tahanan isolasi).

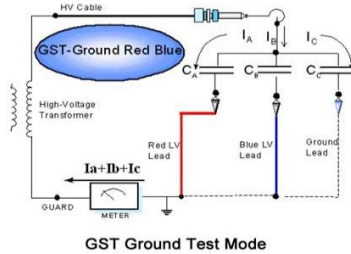
## 2.7. Metode Pengujian Tan Delta

Pada pengujian tan delta terdapat beberapa metode yang sering digunakan yaitu:

Mode GST (*Grounded Speciment Test*)



Pemasangan koneksi pada mode GST ditunjukkan pada gambar 2.9 sebagai berikut:



Merupakan mode pengujian tan delta, yang mana nilai kapasitansi yang digunakan sebagai referensi pengujian adalah kapasitansi obyek yang diuji terhadap *ground*.

### 3. METODE PENELITIAN

#### 3.1. Umum

Penelitian ini bertujuan mengetahui kondisi dari isolasi generator, apakah masih baik sesuai dengan standard yang digunakan atau tidak. Agar nantinya generator dapat menghasilkan energi listrik yang memiliki keandalan dan kontinuitas yang baik. Oleh sebab itu dilakukan pengujian tahanan isolasi dengan metode tan delta. Terdapat beberapa hal pokok dalam penelitian ini yaitu: lokasi penelitian, waktu penelitian, alat dan bahan, metode analisis dan hasil.

#### 3.2. Langkah-langkah penelitian

a. Studi pendahuluan: melakukan pemberkasan dan perijinan.

- b. Studi pustaka: pengumpulan informasi dan data sebagai referensi seperti: buku, jurnal dan lain-lain.
- c. Pengujian dan pengumpulan data: melakukan pengujian tan delta menggunakan alat merek doblee m4100 insulation analyzer.
- d. Analisis dan hasil: menganalisis menggunakan grafik, perhitungan dan standart yang digunakan.
- e. Kesimpulan: menyimpulkan kondisi dari isolasi generator.

## 4. HASIL DAN ANALISIS

### 4.1. Hasil Penelitian

Dari hasil pengujian yang dilakukan pada generator unit 2 PT. PJB UBJ O & M PLTU 1 Pacitan Jawa Timur, telah didapatkan data-data yang berhubungan dengan rumusan masalah dan tujuan penelitian yaitu mengenai data pengujian tahanan isolasi generator unit 2 PT. PJB UBJ O & M PLTU 1 Pacitan dengan metode tan delta. Data-data tersebut nantinya akan di deskripsikan dan dianalisis serta dipresentasikan untuk mendapatkan jawaban dari rumusan masalah dalam penelitian ini.

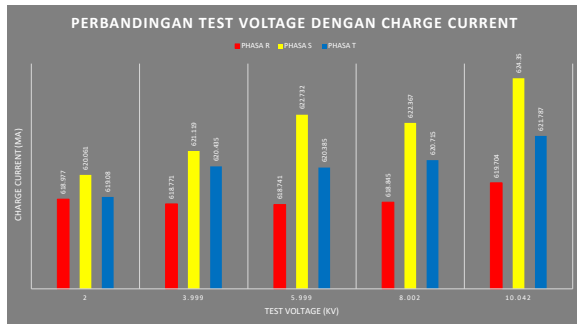
Dengan membandingkan nilai hasil pengujian tan delta dengan standart yang digunakan maka akan mendapatkan hasil nilai tahanan isolasi pada generator unit 2

PLTU Pacitan. Hasil dari penelitian ini nantinya dapat digunakan sebagai acuan untuk dapat mengetahui cara pemeliharaan pada generator unit 2 PLTU Pacitan.

## 4.2. Analisis pengujian

### 4.2.1. Perbandingan test voltage dengan charge current.

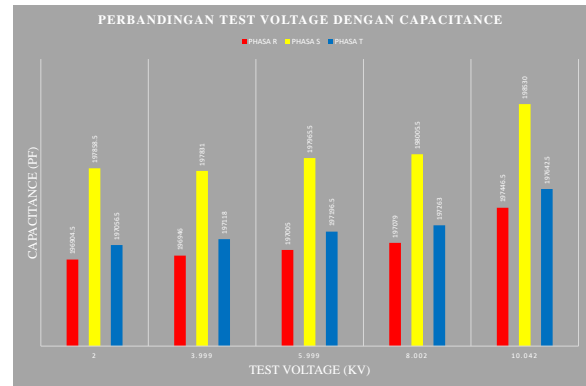
Perbandingan test voltage dengan charge current ditunjukkan pada grafik berikut:



Dari grafik diatas dapat dianalisis bahwa terjadi kenaikan pada nilai charge current terhadap variasi tegangan yang diberikan. Namun kenaikan tersebut masih terbilang normal karena tidak ada kenaikan yang signifikan pada setiap variasi tegangan yang diberikan. Dapat disimpulkan bahwa belum menandakan adanya tanda-tanda arus bocor.

### 4.2.2. Perbandingan test voltage dengan capacitance.

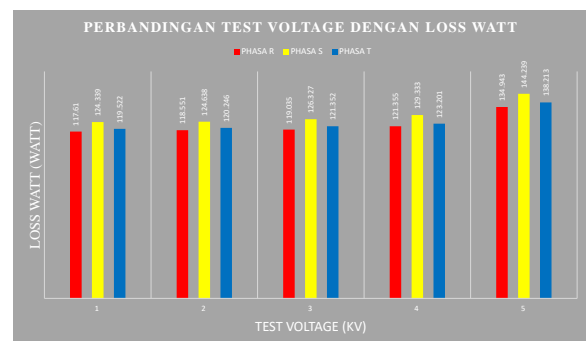
Perbandingan test voltage dengan capacitance ditunjukkan pada grafik berikut:



Dari grafik diatas dapat dianalisis bahwa terjadi kenaikan pada nilai capacitance terhadap variasi tegangan yang diberikan. Namun kenaikan masih terbilang normal karena tidak ada kenaikan yang signifikan pada setiap variasi tegangan yang diberikan. Maka dapat disimpulkan bahwa belum menunjukkan adanya tanda-tanda void terjadi.

### 4.2.3. Perbandingan test voltage dengan loss watt.

Perbandingan test voltage dengan loss watt ditunjukkan pada grafik berikut:

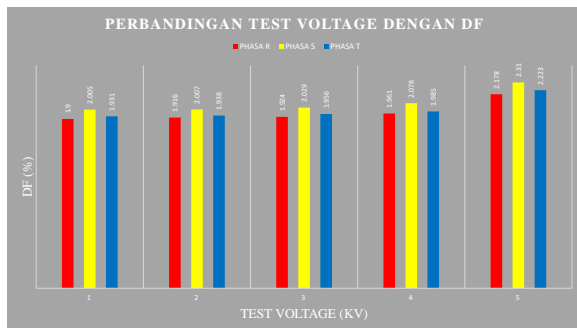


Dari grafik diatas dapat dianalisis bahwa terjadi kenaikan nilai loss watt

terhadap variasi tegangan yang diberikan. Namun kenaikan masih terbilang normal karena tidak terdapat kenaikan yang signifikan pada setiap variasi tegangan yang diberikan. Maka dapat disimpulkan bahwa belum menunjukkan adanya tanda-tanda losses yang terjadi.

#### 4.2.4. Perbandingan test voltage dengan dissipation factor.

Perbandingan test voltage dengan dissipation factor ditunjukkan pada grafik berikut:



Dari grafik diatas dapat di lihat bahwa terjadi kenaikan pada nilai dissipation factor pada setiap variasi tegangan yang diberikan. Namun kenaikan tersebut masih terlihat normal dan sat ugaris. Maka dapat disimpulkan bahwa nilai dissipation factor masih satu garis dan baik. Karena tidak terdapat kenaikan yang signifikan pada setiap variasi tegangan yang diberikan.

#### 4.2.5. Perbandingan hasil pengujian dengan perhitungan.

a. Phasa R kita ambil sampel pada tegangan uji 2 kV dan 10 kV.

Pada tegangan uji 2 kV parameter uji ditunjukkan pada tabel berikut:

Loss Watt (W)	Charge Current (mA)	Capacitance (μF)
117,61	618,977	0,197

Berdasarkan data pada tabel diatas dapat dihitung factor dissipasi atau tan delta sebagai berikut:

$$DF = \omega \cdot R_s \cdot C_s$$

$$R_s = \frac{P}{I^2}$$

$$R_s = \frac{P}{I^2} = \frac{117.61}{618.977^2} = \frac{117.61 \times 10^{-2}}{38312.526 \times 10^{-12}} = 30696.95\Omega$$

$$DF = 2\pi f \times R_s \times C_s$$

$$= 2 \times 3.14 \times 50 \times 30696.95 \times 0.197 = 1898851.938 \times 10^{-6} = 1.898 \%$$

Pada tegangan uji 10 kV parameter uji ditunjukkan pada tabel berikut:

Loss Watt (W)	Charge Current (mA)	Capacitance (μF)
134,943	619,704	0,197

Berdasarkan data pada tabel diatas dapat dihitung factor dissipasi atau tan delta sebagai berikut:

$$DF = \omega \cdot R_s \cdot C_s$$

$$R_s = \frac{P}{I^2}$$

$$\begin{aligned} R_s &= \frac{P}{I^2} = \frac{134.943}{619.704^2} \\ &= \frac{134.943 \times 10^{-2}}{384033.05 \times 10^{-12}} \\ &= 35138.38\Omega \end{aligned}$$

$$DF = 2\pi f \times R_s \times C_s$$

$$\begin{aligned} &= 2 \times 3.14 \times 50 \times 35138.38 \times 0.197 \\ &= 2173590.034 \times 10^{-6} \\ &= 2.173 \% \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan nilai Faktor dissipasi atau Tan Delta diatas selisih dengan hasil pengukuran hanya sekitar 0,01%.

b. Phasa S kita ambil sampel pada tegangan uji 2 kV dan 10 kV.

Pada tegangan uji 2 kV parameter uji ditunjukkan pada tabel berikut:

Loss Watt (W)	Charge Current (mA)	Capacitance (μF)
124,339	620,061	0,198

Berdasarkan data pada tabel diatas dapat dihitung factor dissipasi atau tan delta sebagai berikut:

$$DF = \omega \cdot R_s \cdot C_s$$

$$R_s = \frac{P}{I^2}$$

$$\begin{aligned} R_s &= \frac{P}{I^2} = \frac{124.339}{620.061^2} \\ &= \frac{124.339 \times 10^{-2}}{384474.4 \times 10^{-12}} \\ &= 32339.99\Omega \end{aligned}$$

$$DF = 2\pi f \times R_s \times C_s$$

$$\begin{aligned} &= 2 \times 3.14 \times 50 \times 32339.99 \times 0.198 \\ &= 2010642.107 \times 10^{-6} \\ &= 2.010 \% \end{aligned}$$

Pada tegangan uji 10 kV parameter uji ditunjukkan pada tabel berikut:

Loss Watt (W)	Charge Current (mA)	Capacitance (μF)
144,239	624,35	0,198

Berdasarkan data pada tabel diatas dapat dihitung factor dissipasi atau tan delta sebagai berikut:

$$DF = \omega \cdot R_s \cdot C_s$$

$$R_s = \frac{P}{I^2}$$

$$\begin{aligned} R_s &= \frac{P}{I^2} = \frac{144.239}{624.35^2} \\ &= \frac{144.239 \times 10^{-2}}{389812.92 \times 10^{-12}} \\ &= 37002.11\Omega \end{aligned}$$

$$DF = 2\pi f \times R_s \times C_s$$

$$\begin{aligned} &= 2 \times 3.14 \times 50 \times 37002.11 \times 0.198 \\ &= 2300495.059 \times 10^{-6} \\ &= 2.300 \% \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan nilai faktor dissipasi atau Tan Delta diatas selisih

dengan hasil pengukuran hanya sekitar 0,01%.

c. Phasa T kita ambil sampel pada tegangan uji 2 kV dan 10 kV.

Pada tegangan uji 2 kV parameter uji ditunjukkan pada tabel berikut:

Loss Watt (W)	Charge Current (mA)	Capacitance (μF)
119,522	619,08	0,197

Berdasarkan data pada tabel diatas dapat dihitung factor dissipasi atau tan delta sebagai berikut:

$$DF = \omega \cdot R_s \cdot C_s$$

$$R_s = \frac{P}{I^2}$$

$$R_s = \frac{P}{I^2} = \frac{119.522}{619.08^2} = \frac{119.522 \times 10^{-2}}{383260.046 \times 10^{-12}} = 31185.61\Omega$$

$$DF = 2\pi f \times R_s \times C_s$$

$$= 2 \times 3.14 \times 50 \times 31185.61 \times 0.197 = 1929079.711 \times 10^{-6} = 1.929 \%$$

Pada tegangan uji 10 kV parameter uji ditunjukkan pada tabel berikut:

Loss Watt (W)	Charge Current (mA)	Capacitance (μF)
138,213	621,787	0,198

Berdasarkan data pada tabel diatas dapat dihitung factor dissipasi atau tan delta sebagai berikut:

$$DF = \omega \cdot R_s \cdot C_s$$

$$R_s = \frac{P}{I^2}$$

$$R_s = \frac{P}{I^2} = \frac{138.213}{621.787^2} = \frac{138.213 \times 10^{-2}}{386619.07 \times 10^{-12}} = 35749.14\Omega$$

$$DF = 2\pi f \times R_s \times C_s$$

$$= 2 \times 3.14 \times 50 \times 35749.14 \times 0.198 = 2222595.532 \times 10^{-6} = 2.223 \%$$

Dari hasil perhitungan nilai faktor dissipasi atau Tan Delta diatas selisih dengan hasil pengukuran hanya sekitar 0,01%.

4.2.6. Perbandingan hasil pengujian dengan standard yang digunakan.

Pengujian yang dilakukan pada generator unit 2 PLTU Pacitan memiliki standar nilai tahanan isolasi atau tan delta yang menjadi acuan. Apakah tahanan isolasi pada belitan stator generator masih dalam kondisi baik atau buruk. Standar yang dipakai yaitu IEEE std 286-2000 dan VDE 0530 Part 1.

Hasil nilai standar tanhanan isolasi atau tan delta ditunjukkan pada tabel berikut:

Kriteria	Phasa R	Phasa S	Phasa T	Standart	Keterangan
$\tan\delta$ (0.2 Un)	1.900%	2.005	1.931	$\leq 4\%$	Good
$(\tan\delta_{0.6} - \tan\delta_{0.2}) / 2$	0.012%	0.012%	0.0125%	$\leq 0.25\%$	Good
$\Delta \tan\delta$ ( $\tan\delta_{0.8} - \tan\delta_{0.6}$ )	0.037%	0.049%	0.029%	$\leq 0.5\%$	Good

➤ Phasa R to Ground:

$$\text{Initial } \tan\delta (0.2 U_n) = 1.900\%$$

$$\text{Increase } (\tan\delta_{0.6} - \tan\delta_{0.2}) / 2 =$$

$$(1.924 - 1.900) / 2 = 0.012\%$$

$$\text{Increase } \Delta \tan\delta (\tan\delta_{0.8} - \tan\delta_{0.6}) =$$

$$1.961 - 1.924 = 0.037\%$$

➤ Phasa S to Ground:

$$\text{Initial } \tan\delta (0.2 U_n) = 2.005\%$$

$$\text{Increase } (\tan\delta_{0.6} - \tan\delta_{0.2}) / 2 =$$

$$(2.029 - 2.005) / 2 = 0.012\%$$

$$\text{Increase } \Delta \tan\delta (\tan\delta_{0.8} - \tan\delta_{0.6}) = 2.078 - 2.029 = 0.049\%$$

➤ Phasa T to Ground:

$$\text{Initial } \tan\delta (0.2 U_n) = 1.931\%$$

$$\text{Increase } (\tan\delta_{0.6} - \tan\delta_{0.2}) / 2 =$$

$$(1.956 - 1.931) / 2 = 0.0125\%$$

$$\text{Increase } \Delta \tan\delta (\tan\delta_{0.8} - \tan\delta_{0.6}) =$$

$$1.985 - 1.956 = 0.029\%$$

### 4.3. Hasil analisis

Hasil diatas menunjukkan bahwa nilai pengujian masih dalam kondisi standar yang diijinkan yaitu  $\tan\delta \leq 5\%$ . Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa nilai tahanan isolasi generator unit 2 PLTU 1 Pacitan masih dalam kondisi baik dan dapat diterima dengan nilai  $\tan\delta$  kurang dari 5% seperti di tunjukkan pada tabel 4.23.

Pada gambar 4.1., gambar 4.5. dan gambar 4.9. perbandingan Charge Current dengan Test Voltage menunjukkan bahwa dengan variasi tegangan uji yang diberikan yaitu mulai dari 2 kV, 4 kV, 6kV, 8 kV sampai 10 kV terdapat kenaikan arus. Namun hal tersebut tidak menjadi masalah karena pada pengujian setiap phasa yaitu phas R, phasa S dan phasa T menunjukkan hasil yang linier. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa belum terdapat tanda-

tanda kebocoran arus belitan setiap fasa generator.

Pada gambar 4.2., gambar 4.6. dan gambar 4.10 perbandingan Capacitance dengan Test Voltage menunjukkan bahwa dengan variasi tegangan yang diberikan yaitu mulai dari 2 kV, 4 kV, 6 kV, 8 kV sampai 10 kV menghasilkan nilai rata-rata Capacitance setiap fasa yaitu 0.197  $\mu$ F. Itu berarti belum terdapat tanda-tanda gejala *void* pada isolasi setiap fasa generator.

Dari semua data pengujian tahanan isolasi pada generator unit 2 PLTU 1 Pacitan. Dapat dilihat dan disimpulkan bahwa nilai tahanan isolasi generator masih bagus dan dapat diterima. Itu berarti isolasi generator unit 2 PLTU 1 Pacitan dalam kondisi baik. Semua itu dibuktikan pada gambar 4.4., gambar 4.8. dan gambar 4.12. dengan variasi tegangan yang diberikan yaitu mulai dari 2 kV, 4 kV, 6 kV, 8 kV sampai 10 kV menunjukkan rata-rata nilai Dissipation Factor atau Tan Delta yaitu 1.976 pada fasa R, 2.086 pada fasa S dan 2.007 pada fasa T. Dibandingkan dengan nilai standart yang dipakai yaitu Initial  $\tan\delta (0.2 U_n) \leq 4\%$ , Increase  $(\tan\delta 0.6 - \tan\delta 0.2) / 2 \leq 0.25\%$  dan Increase  $\Delta \tan\delta (\tan\delta 0.8 - \tan\delta 0.6) \leq 0.5\%$  hasil diatas masih

berada dibawah batas standart yang digunakan. Jadi tahanan isolasi pada setiap fasa masih dalam kondisi baik.

## 5. PENUTUP

### 5.1. KESIMPULAN

1. Berdasarkan pengujian tahanan isolasi generator unit 2 PLTU 1 Pacitan pada february 2018 didapatkan hasil analisis sebagai berikut:
  - a. Rata-rata nilai *Dissipation factor* atau Tan Delta setiap fasa yaitu 1.976% pada fasa R, 2.086% pada fasa S dan 2.007% pada fasa T.
  - b. Rata-rata nilai *Charge current* setiap fasa yaitu 619 mA pada fasa R, 622 mA pada fasa S dan 620 mA pada fasa T.
  - c. Rata-rata nilai *Capacitance* setiap fasa yaitu 0.197  $\mu$ F pada fasa R, 0.198  $\mu$ F pada fasa S dan 0.197  $\mu$ F pada fasa T.
  - d. Rata-rata nilai *Loss watt* setiap fasa yaitu 122 watt pada fasa R, 129 watt pada fasa S dan 124 watt pada fasa T.
2. Dari nilai hasil analisis *Charge current* menunjukkan bahwa belum terdapat tanda-tanda arus bocor pada setiap fasa generator unit 2 PLTU 1 Pacitan.
3. Dari nilai hasil analisis *Capacitance* menunjukkan bahwa belum terdapat gejala

void pada setiap fasa generator unit 2 PLTU 1 Pacitan.

4. Dari hasil analisis didapatkan nilai *Dissipation factor* atau Tan Delta pada fasa R = 1.976%, pada fasa S = 2.086% dan pada fasa T = 2.007%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kondisi isolasi belitan stator generator unit 2 PLTU 1 Pacitan masih dalam kondisi baik. Karena sesuai dengan standart yang digunakan yaitu IEEE std 286-2000 dan VDE 0530 Part 1 tertulis bahwa isolasi dikatakan baik apa bila nilai tahanan isolasi  $\leq 4\%$ .

## 5.2. SARAN

Terkait dengan penelitian yang telah dilakukan, berikut beberapa saran yang dapat dijadikan bahan acuan pada penelitian selanjutnya yaitu tentang pengujian Tan Delta:

1. Disarankan untuk melakukan dan mempertahankan pemeliharaan secara optimal sehingga kondisi generator dapat terpantau dan bekerja secara optimal.
2. Disarankan untuk membandingkan antara pengujian tahun sebelumnya dengan pengujian terbaru, untuk mengetahui penurunan kondisi dari generator khususnya bagian isolasi belitan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Afandi, Robin (2016), "*Evaluasi Pengukuran Tahanan Isolasi Pada Sisi Output Generator Wescan Unit 1 di PT. PLN (Persero) Pembangkit Sumbangsel Sektor Pembangkit Keramasa*", Politeknik Negeri Sriwijaya.
- Muhammad Hamdani Rizal, Rudy setiabudy (2013), "*Anallisis Kualitas Isolasi Belitan Dari Kumparan Stator Motor 6.6 kV Berdasarkan Nilai Tahanan Isolasi, Tan Delta dan Arus Bocor Pada Pengujian Tegangan Tinggi (DC)*", Universitas Indonesia.
- Ningrum, Atik Setyo (2012), "*Analisis Partial Discharge Pada Belitan Stator Generator GT.11 dan ST.10 PLTGU Grati dan Peramalan Prediksi Generator dengan Metode Regresi Linear*", Universitas Islam Sultan Agung.
- Sakti H, R. Maulana yang (2016), "*Pengukuran Hambatan Isolasi dan Pemeliharaan Pada Stator Annual Inspection Generator Unit 8 PT. Pembangkit Cirata*". Universitas Gajah Mada.
- Trihasto, Agung (2017), "*Kajian Generator Impuls Tegangan Rendah Menggunakan Analysis Transient*



- Program*”, Universitas Tidar Magelang.
- Setyoadi (2012), “*Analisis Permasalahan Partial Discharge Pada Isolasi Belitan Stator Generator 11.8 kV*”. Universitas Indonesia.
- Annisa R. Nurul (2014), “*Electrical Test Pada Perbaikan Motor Induksi rotor sangkar 3300 V 750 kW*”, Universitas Gajah Mada
- Fatchur (2016), “*Analisis Tahanan Isolasi Generator AC 35 MW / 11kV Unit 1 PLTA Sutami*”, Universitas Gajah Mada.
- Bimantara, Yoga (2016), “*Analisis Kelayakan Tahanan Isolasi Generator AC 60 MW / 13.8 kV PLTA PB Soedirman Mrica*”, Universitas Gajah Mada.
- IEEE Std 286-2000, *IEEE Recommended Practice for Measurement of Power Factor Tip-Up of Electric Machinery Stator Coil Insulation*.
- VDE 0530, *Testing of The Insulation of Coils of Large High-Voltage Machines*.
- Paul Gill, *Electrical Power Equipment Maintenance and Testing: Second Edition*.
- Syahputra, R., Robandi, I., Ashari, M. (2015). Performance Improvement of Radial Distribution Network with Distributed Generation Integration Using Extended Particle Swarm Optimization Algorithm. *International Review of Electrical Engineering (IREE)*, 10(2). pp. 293-304.
- Syahputra, R., (2012), “Distributed Generation: State of the Arts dalam Penyediaan Energi Listrik”, LP3M UMY, Yogyakarta, 2012.
- Syahputra, R., (2015), “Teknologi dan Aplikasi Elektromagnetik”, LP3M UMY, Yogyakarta, 2016.
- Syahputra, R., Robandi, I., Ashari, M. (2014). Performance Analysis of Wind Turbine as a Distributed Generation Unit in Distribution System. *International Journal of Computer Science & Information Technology (IJCSIT)*, Vol. 6, No. 3, pp. 39-56.